DISEÑO DEL PROCESO DE DESTILACIÓN AL VACÍO

L. Ale Ruiz[3]*,J.M. Vega[1], J. Martínez[2], y E. Erdmann[4]
1 INIQUI (UNSa-CONICET)
2 INIQUI- Facultad de Ingeniería - CIUNSa.(UNSa -CONICET)
3CIUNSa, Facultad de Ingeniería. UNSa
E-mail: laleruiz@unsa.edu.ar
4 ITBA - INIQUI (UNSa-CONICET)
Avda Bolivia 5150 - 4400 Salta – Argentina

Resumen. En este trabajo se diseña el proceso de una torre de destilación al vacío para combustible con zonas de máxima exigencia como ser la alimentación y la cámara flash, el lecho de lavado de la corriente "Overflash" y el "Stripping de los pesados de fondo. La torre tiene características particulares, que la diferencian de las fraccionadoras atmosféricas. En estas torres la energía necesaria para vaporizar el crudo reducido es suministrada totalmente en hornos. La carga parcialmente vaporizada es enviada a la zona flash de la columna de destilación, donde se produce una corriente ascendente de vapores y otra descendente de líquidos a velocidades sónicas. El principio de operación de estas torres es la condensación de los vapores muchas veces de fondos pesados y coquizables. Los dispositivos o elementos mecánicos para producir el contacto liquido vapor, son rellenos especiales ubicados en lechos ordenados que permiten incrementar la superficie de interfase, favoreciendo la transferencia de masa. El primer corte lateral producido es el Gas Oíl Liviano de Vacío (GOLV), el cual es carga de la unidad de hydrocracking. El segundo corte lateral es el Gas Oíl Pesado de Vacío (GOPV), este producto intercambia calor con el crudo de la unidad de topping y es la

* A quien debe enviarse toda la correspondencia

carga por excelencia de las unidades de cracking catalítico a lecho fluidizado. El producto de fondo es residuo asfáltico, que es enviado a las unidades de cracking térmico.

Palabras clave:DESTILACIÓN AL VACÍO, PETRÓLEO, CRUDO REDUCIDO.

1. Introducción

Cuando a las refinerías ingresan crudos pesados, el producto de fondo de la torre de destilación atmosférica en su mayoría es un crudo reducido pesado, por lo que se debe seguir tratando entorres de destilación de vacío, por lo tanto en toda refinería hay una Unidad de Destilación de Vacío, tal como lo indica Shukran and AbdRahman (2013). La destilación al vacío es de particular importancia porque permite obtener productos vírgenes de cadenas largas sin craqueo y reduce la tendencia que tiene el petróleo a descomponerse cuando es sometido a destilación.

En Campo Durán en la provincia de Salta se encuentra la única Refinería del Norte del país, Refinor, contando esta con una unidad de destilación al vacio. La Refinería de Luján de Cuyo en Mendoza, Repsol YPF, posee una sección de Crudo y Vacio que consta de una unidad de destilación primaria de crudo y otra de destilación al vacío, que procesa los residuos pesados de la primera. Las Refinerías de Petrobras de Bahía Blanca (Buenos Aires) y de San Lorenzo (Santa Fe) ambas cuenta con unidades de destilación atmosférica y unidades de destilación al vacío.

Las unidades de destilación de vacío, están diseñadas para destilar las fracciones pesadas de crudo operando a presiones reducidas, del orden de entre los 10 a 75 mmHgabs,condiciones adecuadas para que no se produzca la descomposición térmica de las mismas debido. La presión absoluta en la zona flash de la torre es controlada entre los 25 y 100 mmHg y la presión efectiva puede ser reducida cerca de los 10 mmHg al inyectar vapor al horno y en el fondeo de la torre de vacío(Ji and Bagajewicz, 2002). Las temperaturas son altas y los caudales son de magnitud, resultando por lo general equipos de grandes dimensiones. Existen dos tipos de torres de destilación de vacío: “torres de vacío combustibles” y “torres de vacío lubricantes”.

La diferencia entre ambas reside en sus funciones y detalles de construcción y no en los principios de operación; o sea fundamentalmente la diferencia está en el uso que se va a dar a los productos que se obtienen por destilación. La torre de vacío lubricante tal como su nombre lo indica es para obtener lubricantes de diferentes características a su vez en este caso se debe disponer de una cantidad de platos superior que para la torre de vacío combustibles pues las especificaciones son más severas para los lubricantes. En el caso de vacío combustible la cantidad de platos no es tan grande puesto que las especificaciones de los productos no son tan severas y esto es porque son usados como carga para otras plantas (el gasoil liviano de vacío-GOLV- que va a hidrotratamiento; o mezclado con el gasoil pesado de vacío –GOPV a craqueo catalítico)(Ojeda, 1978).

El diseño de una columna de vacío, al igual que cualquier otro equipo, comprende el diseño del proceso y en base a éste, el diseño del equipo. Ambos están íntimamente relacionados.

El diseño del proceso comprende el cálculo de las condiciones de operación: presión en cabeza, fondo y zona flash; temperaturas en cabeza, zona flash, fondo y extracciones laterales; calor a extraer con los reflujos circulantes; caudales másicos y volumétricos de líquido y vapor internos; caudales másicos y volumétricos de los productos que ingresan y egresan a/y de la torre; caudal de vapor de agua.

El diseño del equipo involucra la determinación de: diámetro de la columna en las distintas secciones; altura de relleno en las zonas de lavado y reflujo circulante; diseño de internos en zonas de fondo; diseño de intercambiadores de calor, bombas, líneas, eyectores, instrumentación, etc.

En este trabajo describiremos el procedimiento para el diseño del proceso de una columna de vacío combustiblesque tiene características particulares, que la diferencian de las fraccionadoras atmosféricas. En estas torres la energía necesaria para vaporizar el crudo reducido es suministrada totalmente en hornos. La carga parcialmente vaporizada es enviada a la zona flash de la columna de destilación, donde se produce una corriente ascendente de vapores y otra descendente de líquidos a velocidades sónicas.

2. Torre de Vacío Combustible

El principio de operación de estas torres es la condensación de los vapores muchas veces de fondos pesados y coquizables. Los dispositivos o elementos mecánicos para producir el contacto liquido vapor, son rellenos especiales ubicados en lechos ordenados que permiten incrementar la superficie de interfase, favoreciendo la transferencia de masa. El primer corte lateral producido es el Gas Oíl Liviano de Vacío (GOLV), el cual es carga de la unidad de hydrocracking. El segundo corte lateral es el Gas Oíl Pesado de Vacío (GOPV), este producto intercambia calor con el crudo de la unidad de topping y es la carga por excelencia de las unidades de cracking catalítico a lecho fluidizado. El producto de fondo es residuo asfáltico, que es enviado a las unidades de cracking térmico. El método de diseño de Watkins (1979) es usado para diseñar la torre de vacio convencional.

La figura 1 presenta un diagrama esquemático para la producción de GOLV (gasoil liviano de vacío) y GOPV (gasoil pesado de vacío).

La alimentación, que en este caso es un crudo reducido, previamente pasa por un horno en donde se la lleva a una temperatura adecuada para vaporizar las fracciones que se desean separar en la torre de vacío.

Al igual que en Topping el horno en realidad es el destilador, ya que dentro del horno está vaporizado lo que uno requiere separar, y sale del mismo una mezcla líquido – vapor. No se puede vaporizar en la torre más de lo que se vaporizó en el horno.

Se inyecta antes de entrar al horno una cierta cantidad de vapor de agua, para disminuir la presión parcial de los hidrocarburos con lo cual disminuimos la temperatura, a pesar de estar trabajando al vacío.

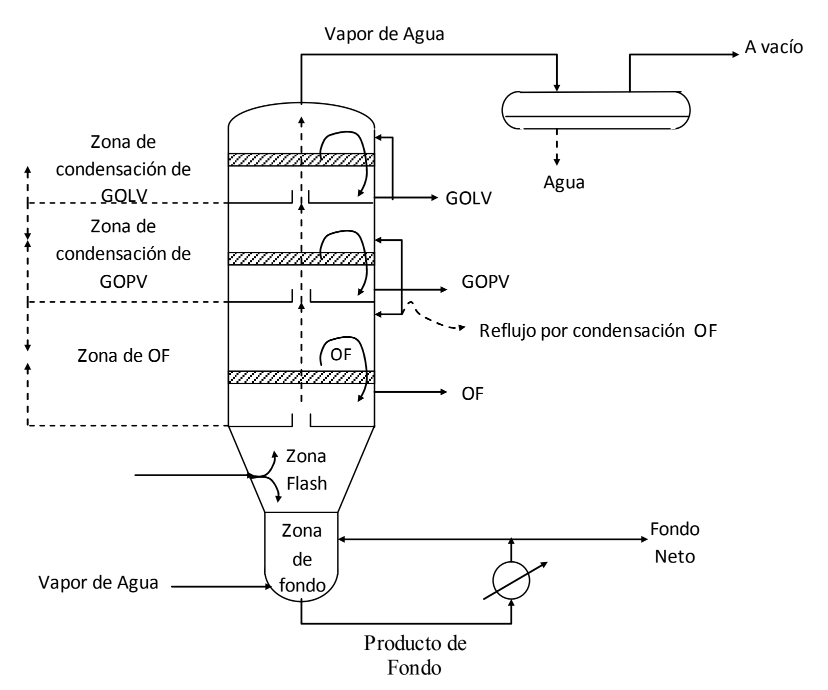


Fig. 1. Destilación alVacío

2.1.Zona de Fondo

Normalmente la cantidad de vapor de agua es 0,5 % de la carga; también se inyecta vapor de agua en la zona de fondo, al igual que en una torre de Topping., pero en este caso cumple la función de stripping o sea arrastrar los hidrocarburos livianos que se pudieron haber ido con la corriente líquida.

Además se hace un enfriamiento más rápido, para lo cual se deriva una cierta cantidad del producto de fondo, se lo enfría y se lo inyecta en forma de lluvia, con el nombre de QUENCHING.

Hay distintas variantes en lo que se refiere al manejo de la Zona de Fondo, estas variantes están dadas en lo que se refiere al material y forma de los platos:

- Platos perforados, intercalando sección circular y sección anular para mejorar el contacto
- Bafles, para que el flujo sea turbulento.

Las variantes son para aumentar el tiempo de contacto y permitir, por una parte el enfriamiento del líquido y el contacto entre el líquido que baja y el vapor que sube.

En una torre de Topping esta zona contiene platos con campanas de burbujeo.

2.2. Zona Flash

Al igual que en Topping es una cámara donde se inyecta la alimentación y tiene una altura suficiente para permitir la separación del líquido y vapor. Especificaciones:

Temperatura máxima de trabajo = 700 ºF (380 ºC)

Presión≈ 35 mm Hg

2.3. Zona Superior a la Flash (Zona de Over Flash)

El Over Flash (OF) es un cierto porcentaje que se vaporiza en exceso, lo que nos va a permitir un buen lavado por debajo del producto más pesado (punto de extracción).

Normalmente la cantidad de OF que se usa es 2 a 5 % con respecto a la alimentación, a los fines de cálculo se a adopta un 5% (cantidad máxima).

Esta sección de lavado tiene como objetivo retener gotas de asfalto arrastradas por los vapores y al mismo tiempo fracciona moderadamente.

La cantidad OF es variable pues normalmente dependerá del ajuste de las especificaciones del producto pesado que va a destilar, por lo general este producto es un GOPV, que casi siempre va como alimentación de una torre de cracking catalítico y son sumamente importantes las especificaciones, pues se puede envenenar el catalizador, por lo tanto debe cuidarse la alimentación para que tenga lo menor cantidad posible de impurezas y el ajuste de las especificaciones se hace con las variaciones del OF.

Este exceso de vaporizado (OF), se extrae en la zona de lavado, en medida tal de regular el punto final del GOPV. Si no existiera esta vaporización en exceso habría que regular el punto final del GOPV, controlando la vaporización total, mucho más difícil de manejar que producir el OF.

En la parte inferior de la zona hay un plato denominado plato colector de OF**,** para recibir el OF condensado y no permitir que vaya a la zona de fondo.

El límite superior de esta zona OF es el plato de extracción del GOPV, el cual es parecido al plato de extracción de OF o sea un plato colector.

2.4. Zona de Condensación del GOPV

Para condensar el GOPV se usa una sección de relleno por lo general anillos tipo Pall que van a permitir la condensación del GOPV, que va a ser recibido como líquido en el plato colector.

Esta es una sección donde se produce la condensación del GOPV que se extrae para producción y para utilizarlo como reflujo de la zona de condensación del OF, y además en esta zona se enfrían los vapores del GOLV.

Ambos calores (de condensación y enfriamiento) son absorbidos por contacto directo dentro de la torre, entre los vapores y una corriente de reflujo circulante (pumparound), el que luego cede el calor tomado en intercambiadores externos.

2.5. Zona de Condensación del GOLV

El plato de extracción es un plato colector tipo chimenea y una sección de contacto que es una zona rellena con anillos Pall.

A diferencia con la torre de Topping, donde el producto más liviano se extrae por cabeza, en una torre de vacío se saca de la zona de condensación.

Para permitir la condensación del GOLV se introduce en la parte superior de la zona una corriente de reflujo del mismo GOLV. El intercambio de calor entre la corriente de vapor y de líquido debe ser tal que permita sólo el calentamiento de esa corriente, pero sin que se vaporice, pues de otra manera se iría por la parte superior que sólo tiene vapor de agua.

En principio no hay inconveniente en usar platos, pero el problema es que como esta torre tiene que trabajar al vacío, el punto de menor presión es en la zona superior.Nos interesa que la presión sea lo más baja posible en la zona flash, es importante que la caída de presión en la cabeza y la zona flash sea lo más chica posible, por lo tanto debemos usar elementos que no provoquen demasiada caída de presión.Comparando platos y rellenos, éstos últimos provocan menor caída de presión.

Para este tipo de torre está prácticamente definida la caída de presión que se ocasiona en cada zona, lo que se indica en la Tabla 1 en conjunto con la figura 2.

Tabla 1. Tipo de Relleno

Relleno	Tipo
A	Pall
B	Pall
C	Metálico, prácticamente una malla

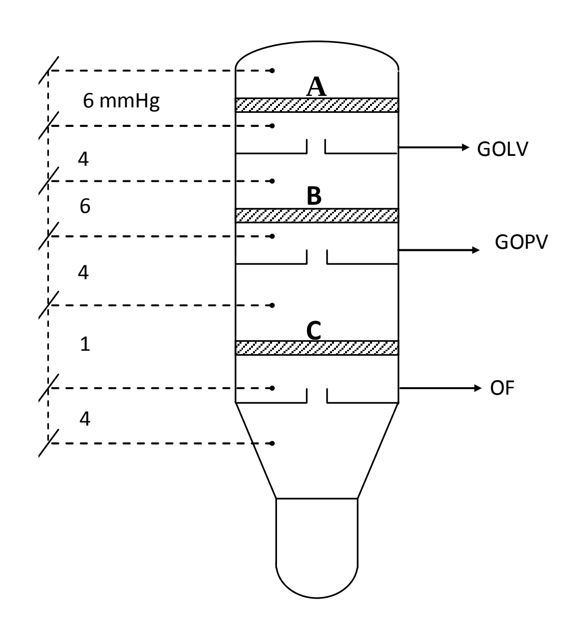


Fig. 2. Destilación de Vacio

3. Procedimiento de Cálculo

Datos básicos: la información de la alimentación que se necesita es:

- La curva TBP_{760}del crudo reducido,que se puede obtener a partir de la curva experimental $ASTM_{10\ mm\ Hg}$, o empíricamente a partir de la curva TBP del crudo.
- Densidad del crudo reducido.

Especificaciones:

- Zona flash: Temperatura máxima de trabajo = 700 ºF (380 ºC), P ≅ 35 mm Hg
- Productos: $T_{100\%TBP760}$: ej. GOLV, $TBP_{100\%}$ = 870 ºF; GOPV, $TBP_{100\%}$ = 1010 ºF.
- Grado de separación: es el solapamiento (OVERLAP), que es un indicador de la imperfección del fraccionamiento, esto se muestra a modo de ejemplo en las Ec (1) y (2).

$$\Delta T_1 = t_{100\%GOLV} - t_{0\%GOPV} \approx 100\,^{o}F \quad (1)$$

$$\Delta T_2 = t_{100\%GOPV} - t_{0\%OF} \approx 150\,^{o}F \quad (2)$$

En función de estos ΔT los productos de corte se van a ubicar equidistantes.

3.1. Determinación de los Puntos de Corte

A partir de la curva TBP_{760} del crudo reducido se buscauna diferencia de temperatura(ΔT) equidistante para cada producto GOL y GOP y se ubica el OF que está 5% sumado a este valor. Este procedimiento se muestra en la figura 3.

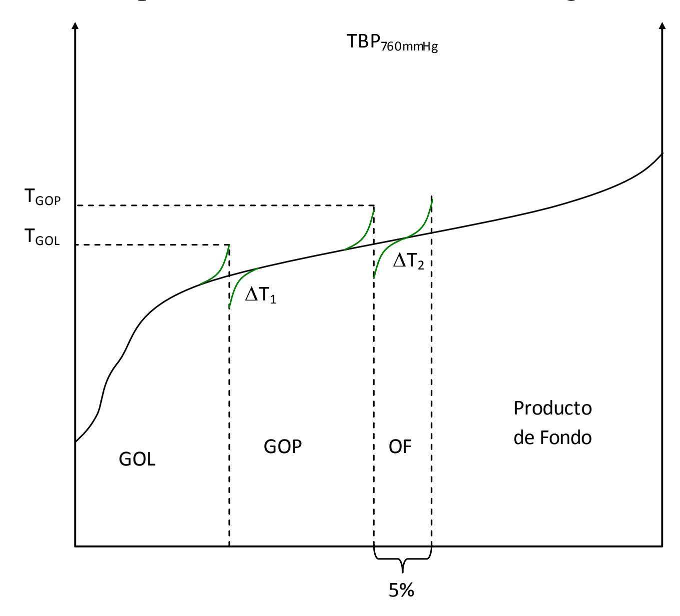


Fig. 3. Modo de ubicar los cortes en la curva TBP

Luego se expande al 100% cada una de las curva de los productos, observándose claramente los solapamientos, Figura 4.

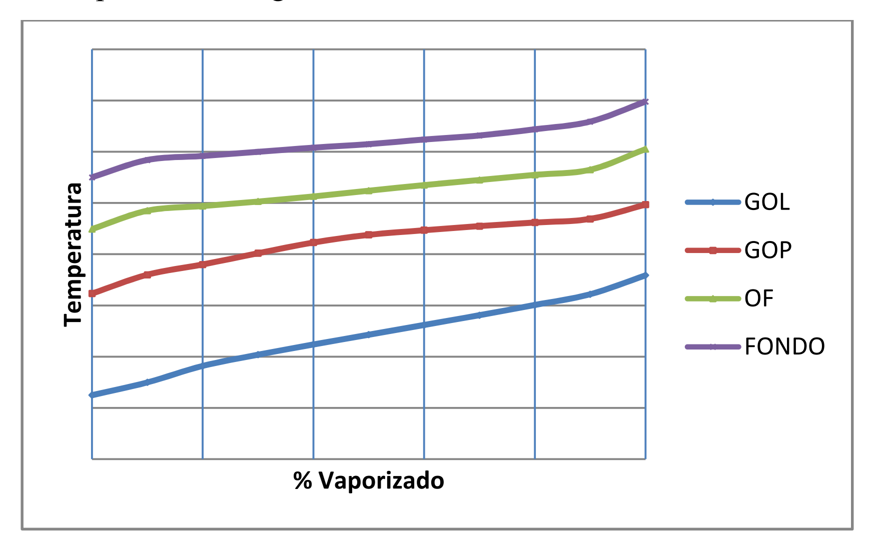


Fig. 4. TBP de los productos

Una vez obtenidas las curvas para los productos y sabiendo cuales son los porcentajes, construimos una tabla como la que se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Rendimientos de los productos

Producto	GOLV	GOPV	OF	Fondo
% s/c	15	30	5	50
% s/c acumulado	15	45	50	100

Conociendo el flujo de crudo reducido a procesar con los rendimientos de los productos podemos calcular los flujos de los productos.

3.2. Transformación de la Curva TBP del Crudo Reducido

Se transforma la curva TBP del crudo reducido a Flash (EFV) atmosférica y luego la a la presión de 10 mm Hg u otra necesaria, cuidando que esa presión esté por debajo de la posible presión que tenga la zona flash para poder hacer una interpolación entre la presión tan baja de 10 mmHg y la zona flash., figura 5. Para esto se pueden usar los métodos de Maxwell o de Edmister y sus respectivas correcciones por presión de la curva EFV (Edmister y Okamoto, 1959), (Maxwell, 1950). Unas de las formas actuales más rápidas de realizar esta transformación de curvas es utilizando el simulador Hysy, siguiendo el procedimiento citado por Tarifa et al, (Tarifa et al, 2008).

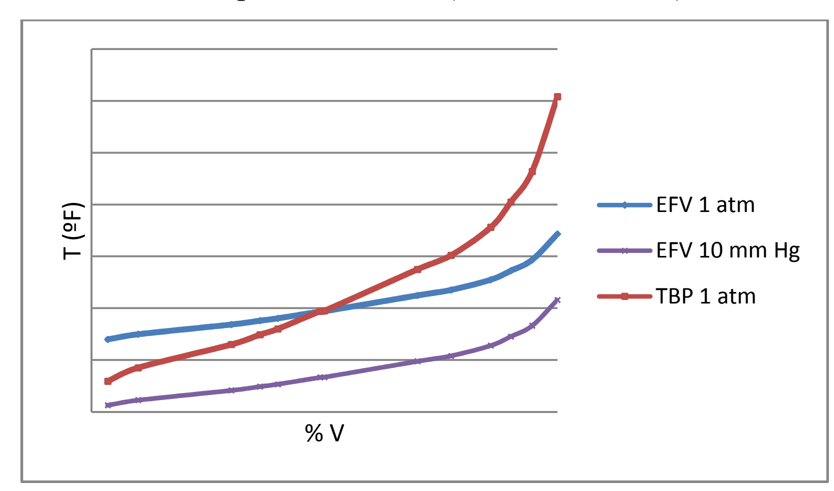


Fig. 5. Curvas EFV a 760 y 10 mm Hg y TBP a 760 mm Hg

3.3. Diagrama de Fases

Hemos visto que una sustancia a medida que cambia la presión cambia su punto de ebullición.Podemos caracterizar a las mezclas a través del punto de ebullición medio, pero para que una mezcla quede definida totalmente hay que especificar su composición.

Con el objeto de poder correlacionar esos distintos puntos de ebullición conviene usar otro parámetro que es el porcentaje de vaporizado.

Para los distintos productos a lo largo del diseño del proceso necesitamos conocer su temperatura de ebullición medio a distintas presiones. Por ejemplo: si queremos saber cuál es la temperatura que necesito para vaporizar GOL, GOP, OF a 760 mm Hg ingresamos a la curva de destilación con el porcentaje y obteniendo la temperatura; pero si queremos saber esa temperatura pero a otras presiones, necesitamos conocer una relación entre la presión de trabajo y la temperatura de vaporización a distintos porcentajes de vaporizado, eso se obtiene en un diagrama de fases.

El diagrama de fases se construye con las EVF_{760} y EFV_{10}. Se ha encontrado que para hidrocarburos la variación de la temperatura con la presión para un porcentaje de destilado constante tiene una variación lineal cuando se representa en un gráfico logaritmo de las presiones versus 1/T a porcentaje de vaporizado constante, como se muestra en la Figura 6.

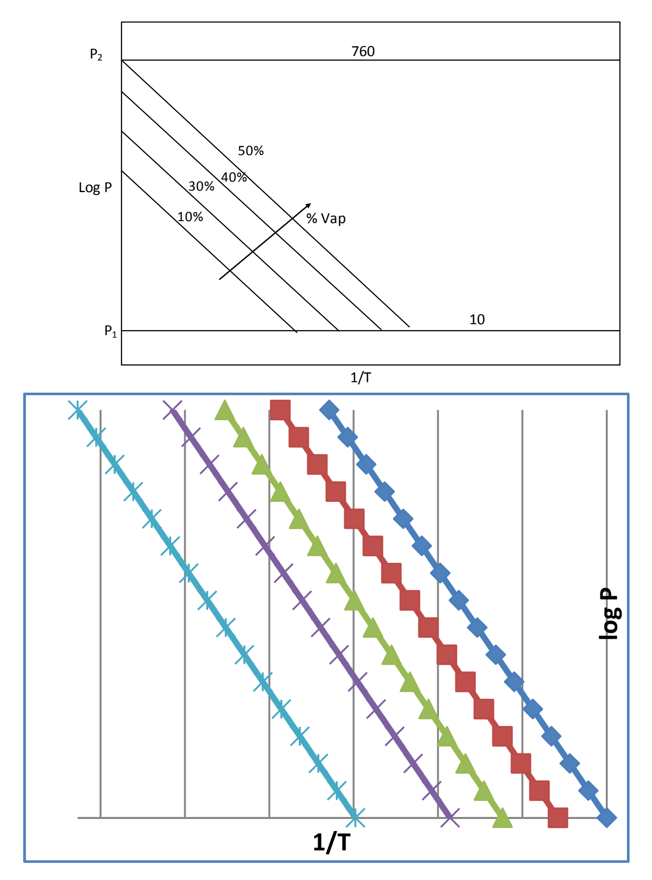


Fig. 6. Diagrama de fases

Se puede representar el diagrama reemplazando 1/T por la longitud, L, definida por la Ec. (3):

$$L(mm\ origen) = long.\,total \frac{\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T}\right)}{\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)} \tag{3}$$

Al hacer este gráfico se invierten laspendientes de las rectas. Se realiza este procedimiento para los porcentajes de vaporizado, Figura 7.

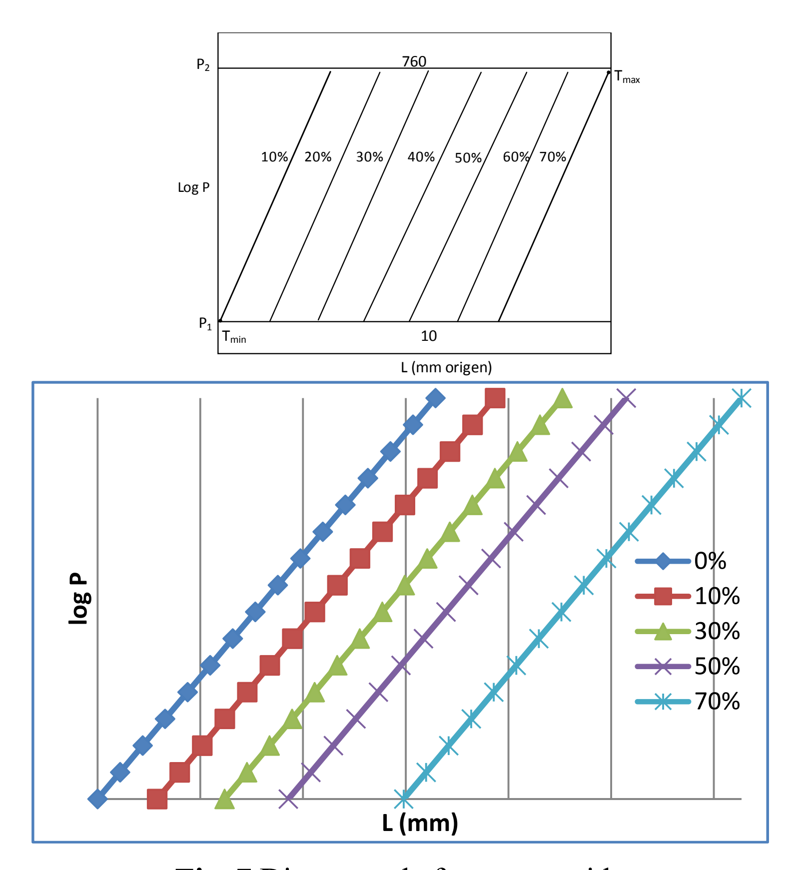


Fig. 7. Diagrama de fases corregido

3.4. Vapor de agua

Se calcula el flujo de vapor de agua que es necesario que se toma como constante e igual a 0,5% de la carga y como se conoce la carga se puede calcular la cantidad de vapor. Este vapor es alimentado en el horno, y es el necesario para evitar temperaturas excesivas en los tubos, que conducirían a la formación de gas y a la degradación de productos.

3.5. Cálculo de las propiedades de los productos

Para calcular las propiedades de los productos se cuenta con la TBP del crudo reducido con la que podemos obtener la temperatura media de ebullición(MeABP), con ésta y la densidad se estima peso molecular y el factor de caracterización (K), todo esto del crudo reducido.

Para los productos se cuenta con la TBP de cada uno de los productos con la que se puede encontrar laMeABP,como no se cuenta con otra propiedad se debe adoptar una. La propiedad que se adopta es el factor de caracterización que se lo toma igual al factor de caracterización del crudo reducido, con esta estimación no se comete mucho error. Entonces teniendo la temperatura de ebullición y el factor de caracterización se estima las propiedades faltantes peso molecular y densidad, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Propiedades de los productos

Producto	GOLV	GOPV	OF
Densidad, gr/cm3	0,9063	0,9398	0,9613
K	11,67	11,67	11,67
PM	320	415	548
MeABP, ºF	723	859	952

Las propiedades de la corriente de fondo se calculan por diferencia obteniendo los valores que se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Propiedades del producto de fondo

Producto	FONDO
Densidad, gr/cm3	0,9605
K	11,67
PM	320
MeABP, ºF	723

3.6 Cálculo de la zona Flash.

Para comenzar con el cálculo fijamos la temperatura de esta zona (t_{ZF}) de manera que no ocurran descomposiciones y se calcula presión (P_{ZF}), ya que conocemos la distribución de presión. El esquema de esta zona se muestra en la figura 8.

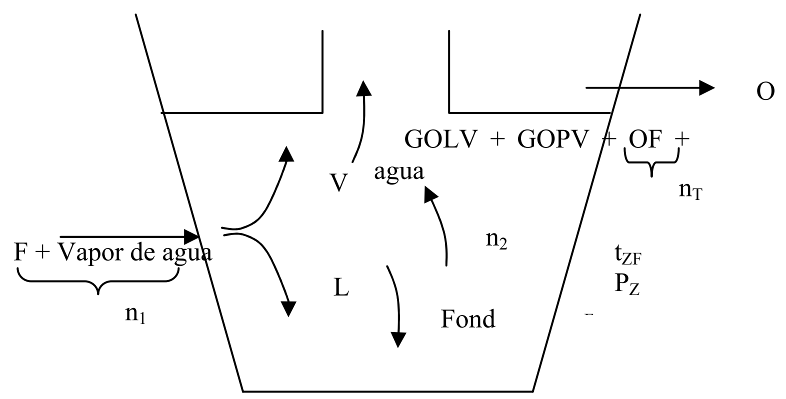


Fig. 8. Esquema de la zona Flash

Datos y especificaciones de la zona: GOLV, GOPV, OF, n_1, PZF, tZF. Incógnitas: n_1 y n_2, ambas corrientes de vapor de agua

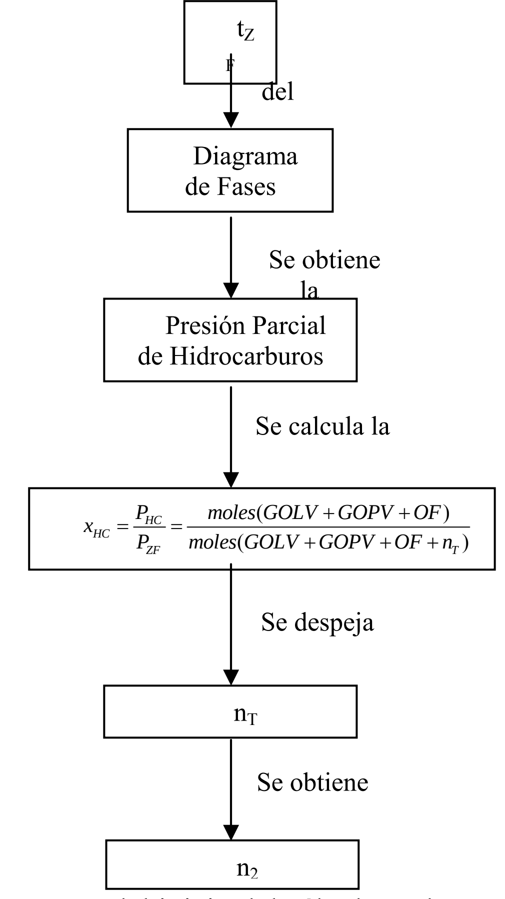


Fig. 9. Esquema del inicio del cálculo en la zona Flash

En esta zona se realizan solamente balances de masa.

3.7. Cálculo Zona de Condensación OF

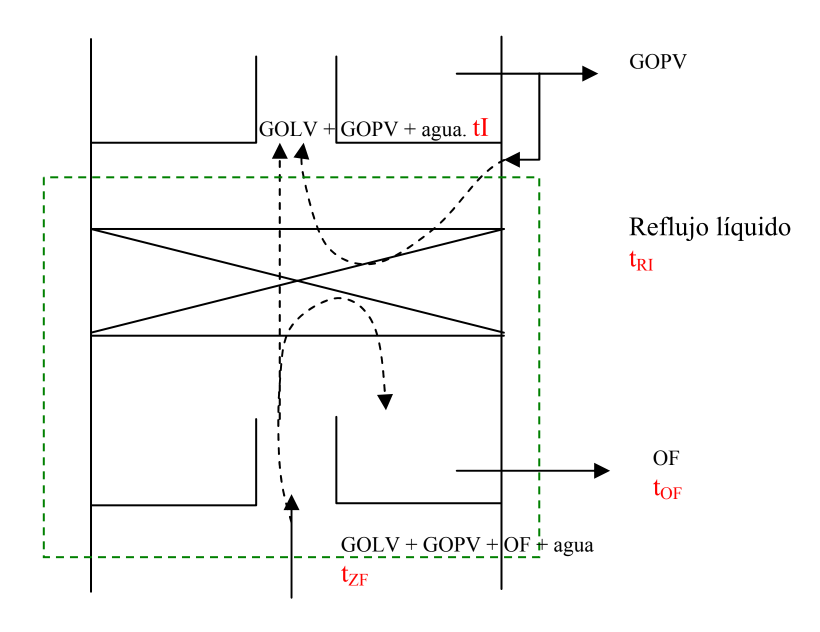


Fig. 10. Esquema de la zona de Condensación OF

La finalidad del reflujo es extraer calor para enfriar vapores, condensar OF y vaporizar el reflujo. Está formado por GOPV.

En esta zona debemos calcular:Temperatura de salida del OF, Temperatura de salida de los vapores, reflujo líquido y su temperatura t_{RI}

Se realiza balance de masa y calor en la zona punteada.

3.8. Zona de Condensación de GOPV

El objetivo de esta zona escondensarla corriente de GOPV y RI y un enfriarla corriente GOLV + H2O.por introducción delas corrientes GOLV + GOPV + H2O + RI y RII a tRII, el esquema de esta zona se observa en la figura 11.

En esta zona lo que se debecalcular es:Temperatura de salida de la zona, calores de condensación y enfriamiento, caudal de reflujo II, calores en los intercambiadores de calor externos. Para encontrar estas incógnitas realizamos un balance de materia, utilizamos el diagrama de fases para encontrar la temperatura y balances de calor para los intercambiadores.

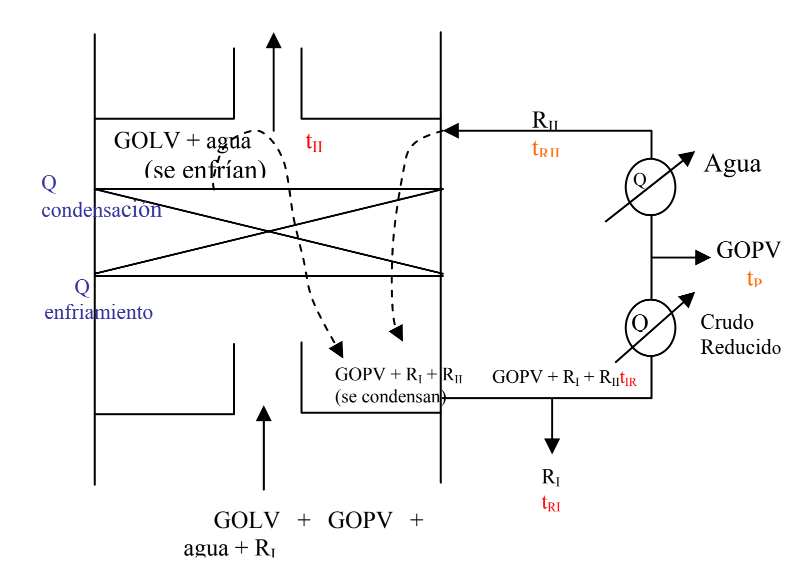


Fig. 11. Esquema de la zona de GOPV

3.9. Zona de Condensación del GOLV

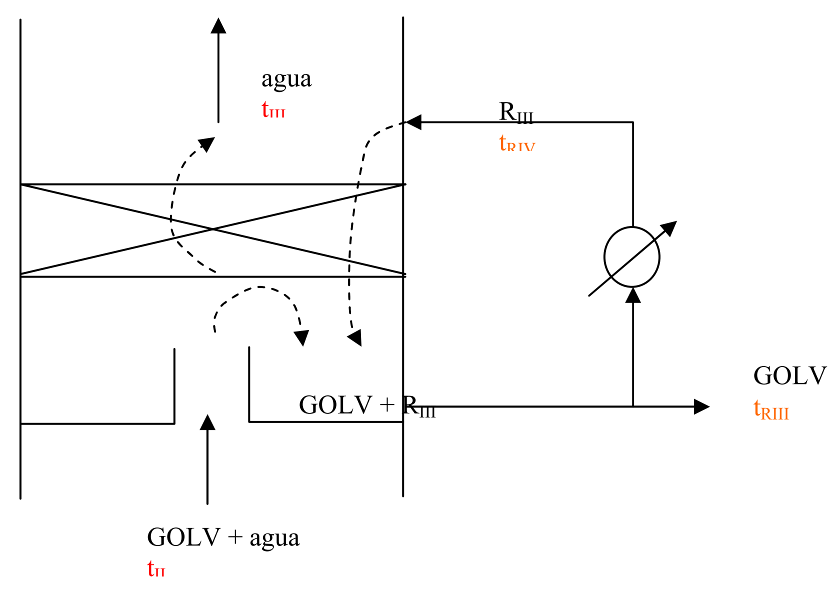


Fig. 12. Esquema de la zona de GOLV

Para que ocurra la condensación del GOLV y el enfriamiento del vapor de agua de tII a tIII necesitamos extraer calor, entonces hay una necesidad de realizar un reflujo circulante que es RIII, esto se observa en la Figura 12. Los cálculos son similares a los de la zona anterior.

3.10. Zona de Fondo

En esta zona que está por debajo de la zona flash ocurren dos fenómenos:

1º) Enfriamiento del producto de fondo por medio de una recirculación de parte de ese producto de fondo (quenching).

2º) Despojamiento (stripping) de hidrocarburos livianos que pudieron haber sido arrastrados por el producto.

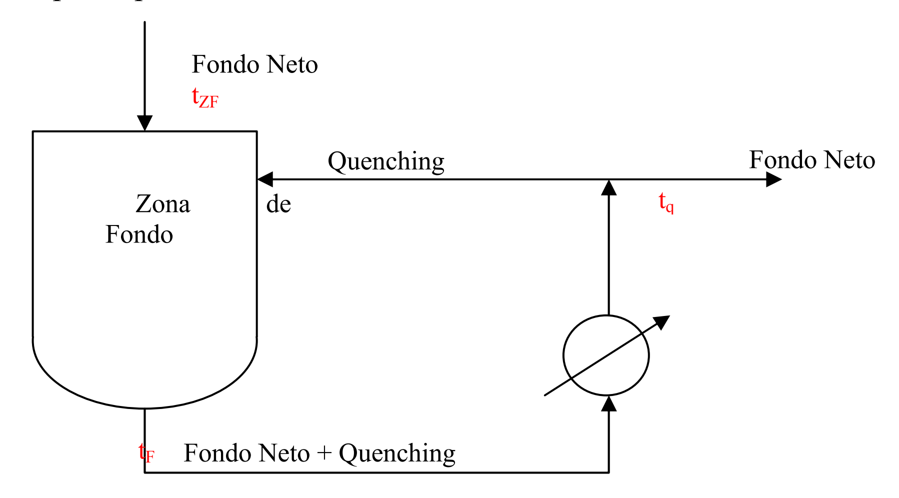


Fig. 13. Esquema de la zona de Fondo

Para obtener las temperaturas, caudales y calores faltantes se realizan balances de materia y calor, y se debe utilizar el diagrama de fases para la presión de fondo.

4. Conclusión

En el diseño de cualquier torre de vacío, la primer cuestión para ser establecida es la selección de una presión óptima de operación del sistema. De manera de simplificar esta discusión, debemos considerar ciertos factores, asumiendo que una temperatura máxima admisible ha sido establecida para la zona flash.

1) La disminución de la presión parcial de hidrocarburos en la zona flash incrementa la vaporización, y, por lo tanto la producción de destilado.

2) La disminución de la presión del sistema disminuye la cantidad de vapor requerido para efectuar una dada vaporización. Si la presión del sistema es reducida a valores lo suficientemente bajos, es absolutamente posible diseñar y operar una torre de vacío que no requiera ninguna corriente de vapor con el propósito de disminuir la presión parcial de hidrocarburo. Hainbach y Rubero(1978) reportan los criterios básicos de diseño para este tipo de torre, que ellos se refieren como "tipo seco".

Una discusión adicional es sobre el punto del uso de vapor. El vapor es usualmente usado en una torre de vacío con el sólo propósito de reducir la presión parcial de

hidrocarburos. Por lo tanto, el vapor es a menudo inyectado en el proceso en dos lugares distintos. Parte de él, muy a menudo el total, es inyectado en la alimentación, cuando todavía está en el horno, usualmente justo antes del punto donde la carga estaría por vaporizarse.Cualquier vapor no inyectado en el horno es inyectado entonces en la zona flash por medio del líquido strippeado e la sección de stripping que es alimentado en la zona flash. La provisión de una sección de stripping de cuatro platos es de uso normal en torres de vacío tipo lubricante, pero es menos frecuentemente usada en torres tipo fuel.

3) El aumento de la presión del sistema incrementa los requerimientos de vapor y también incrementa los requerimientos de la sección transversal de la torre.

4) La disminución de la presión del sistema incrementa los requerimientos de vapor para los jets que producen el vacio.

De lo anterior, se deduce que la presión óptima será la que minimice el uso total de vapor. Esto involucra un estudio de los requerimientos para el vapor que reduce la presión de vapor y el vapor jet a varios niveles de presión.Para las condiciones económicas actuales, la mínima presión de uso en el tope de la torre está en el rango de 50 mmHgabsolutos.

Referencias

Edmister, W. C. & Okamoto, K.K (1959).*Applied Hydrocarbon Thermodynamics* - Part 12: Equilibrium Flash Vaporization Correlations for Petroleum Fractions, Petroleum Refiner; August.

Golden, S.W., Villalanti, D.C., Martin, Gary R. (1994), Feed Characterization and Deepcut Vacuum Columns: Simulation and Design, *AICHE Spring National Meeting,* April 18-20, Atlanta, Georgia.

Hainbach, J. J. and *Rubero*, P. A. (1978), Oil and Gas Journal, Vol. 16, No. 12.

Ji, Shuncheng and Bagajewicz Miguel, (2002), Design of Crude Distillation with Vacuum Units I. Targeting, *Ind. Eng. Chem.* Res. 41, 6094-6099, American Chemical Society.

Maxwell, J. B. (1950); Data Book on Hydrocarbon; D. van Nostrand Company; London.

Ojeda, A.L. et al. (1978) Destilación Aplicada a Sistemas de Hidrocarburos. *YPF-PGM*, Tomos I y II.

Shukran, M.A. and AbdRahman, (2013), Simulationof Vacuum Distillation Tower UsingiCon. Proceedings of 6th International Conferences on Process Systems Engineering (PSE ASIA), 23-27 June, Kuala, Lumpur.

Tarifa, E., Erdmann, E., Humana, D., Franco, S. & Mercado, L. (2008); Determinación de la curva de destilación flash para cortes de petróleo utilizando simuladores comerciales; *Revista ingeniería e investigación*; vol. 28 No. 1;50-56

Watkins, R.N., (1979), Petroleum Refinery Distillation, Gulf Publishing Co.: Houston, Tx.